

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

<b>Код модуля</b>	<b>Модуль</b>
1161183	Цифровые технологии в проектировании и эксплуатации турбомашин и турбоустановок

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Цифровые технологии в проектировании и эксплуатации турбоустановок	<b>Код ОП</b> 1. 13.04.03/33.11
<b>Направление подготовки</b> 1. Энергетическое машиностроение	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 13.04.03

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Блинов Виталий Леонидович	кандидат технических наук, доцент	Доцент	турбин и двигателей

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Цифровые технологии в проектировании и эксплуатации турбомашин и турбоустановок

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль «Информационные технологии и сервисы» включает изучение общих принципов организации информационных технологий и сервисов, возможностями современных вычислительных комплексов и информационных сетей и включает дисциплины «CAD/CAE системы в энергомашиностроении» и «Цифровые двойники систем и объектов».

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	CAD/CAE системы в энергомашиностроении	6
2	Цифровые двойники систем и объектов	3
ИТОГО по модулю:		9

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

<b>Пререквизиты модуля</b>	1. Тепловые, газодинамические и прочностные расчеты турбоустановок
<b>Постреквизиты и кореквизиты модуля</b>	1. Цифровое сопровождение жизненного цикла турбоустановок

## 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
CAD/CAE системы в энергомашиностроении	ОПК-2 - Способен самостоятельно ставить, формализовывать и решать задачи, относящиеся к профессиональной	З-2 - Характеризовать сферы применения и возможности пакетов прикладных программ для решения задач профессиональной деятельности  У-2 - Использовать методы моделирования и математического анализа, в том числе с

	<p>деятельности, используя методы моделирования и математического анализа</p>	<p>использованием пакетов прикладных программ для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Решать самостоятельно сформулированные практические задачи, относящиеся к профессиональной деятельности методами моделирования и математического анализа, в том числе с использованием пакетов прикладных программ</p>
	<p>ПК-2 - Способность разрабатывать программные алгоритмы, физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов в сфере конструирования, проектирования, исследования, модернизации объектов газотурбостроения и энергетики и оценивать полученные результаты</p>	<p>З-2 - Объяснять принципы выбора моделей и расчётных схем системы в зависимости от условий работы и конструктивных особенностей энергоустановок</p> <p>З-3 - Изложить основные подходы к проектированию турбомашин с применением САПР</p> <p>У-3 - Анализировать результаты численного моделирования рабочих процессов и на их основе предлагать меры по совершенствованию энергоустановок</p> <p>У-4 - Анализировать и устанавливать последовательность действий при построении твердотельных моделей элементов турбомашин с применением САПР</p> <p>П-2 - Выполнять численные расчеты рабочих процессов энергоустановок и проводить их анализ</p> <p>П-3 - Самостоятельно ставить и решать задачи численного моделирования рабочих процессов энергоустановок</p> <p>П-4 - Иметь практический опыт разработки моделей элементов турбомашин в САПР при проектировании турбомашин</p>
<p>Цифровые двойники систем и объектов</p>	<p>УК-7 - Способен обрабатывать, анализировать, передавать данные и информацию с использованием цифровых средств для эффективного решения поставленных задач с учетом требований</p>	<p>З-1 - Сделать обзор угроз информационной безопасности, основных принципов организации безопасной работы в информационных системах и в сети интернет</p> <p>З-3 - Сделать обзор современных цифровых средств и технологий, используемых для обработки, анализа и передачи данных при решении поставленных задач</p>

информационной безопасности		<p>У-1 - Определять основные угрозы безопасности при использовании информационных технологий и выбирать оптимальные способы и средства защиты персональных данных и данных организации от мошенников и вредоносного ПО</p> <p>У-2 - Выбирать современные цифровые средства и технологии для обработки, анализа и передачи данных с учетом поставленных задач</p> <p>П-1 - Обосновать выбор технических и программных средств защиты персональных данных и данных организации при работе с информационными системами на основе анализа потенциальных и реальных угроз безопасности информации</p> <p>П-2 - Решать поставленные задачи, используя эффективные цифровые средства и средства информационной безопасности</p>
ОПК-5 - Способен планировать, организовывать и контролировать работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования и технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности		<p>З-4 - Показать возможности использования цифровых технологий (создание цифровых двойников) для оптимизации работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-4 - Использовать при необходимости техники цифрового моделирования при выполнении работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p>
ПК-2 - Способность разрабатывать программные алгоритмы, физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов в сфере конструирования, проектирования, исследования, модернизации объектов газотурбостроения и		<p>З-2 - Объяснять принципы выбора моделей и расчётных схем системы в зависимости от условий работы и конструктивных особенностей энергоустановок</p> <p>У-3 - Анализировать результаты численного моделирования рабочих процессов и на их основе предлагать меры по совершенствованию энергоустановок</p> <p>П-3 - Самостоятельно ставить и решать задачи численного моделирования рабочих процессов энергоустановок</p>

	энергетики и оценивать полученные результаты	
	ПК-8 - Способен управлять цифровым двойником объектов профессиональной деятельности и внедрять алгоритмы предиктивной аналитики для предотвращения аварийных ситуаций, повышения эффективности работы оборудования	<p>З-3 - Объяснить выбор концепции технологии цифровой двойник и перечислить их виды</p> <p>У-2 - Осуществлять выбор математических моделей машинного обучения под конкретные задачи повышения эффективности и предотвращения аварийных ситуаций</p> <p>У-3 - Анализировать, определять и выявлять все взаимосвязи цифровых двойников для составления их структуры</p> <p>П-2 - Подготовить техническое задание на проектирование цифрового двойника для всех этапов жизненного цикла</p> <p>П-3 - Иметь практический опыт разработки цифрового двойника элементов и узлов турбоустановок</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**CAD/CAE системы в**  
**энергомашиностроении**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Брезгин Виталий Иванович	доктор технических наук, старший научный сотрудник	Профессор	турбин и двигателей

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Уральская передовая инженерная школа «Цифровое производство»**

Протокол № 1 от 01.02.2023 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- **Брезгин Виталий Иванович, Профессор, турбин и двигателей**

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	CAD-системы. Введение	История и перспективы развития автоматизированного проектирования. Понятия. Термины. Объекты проектирования и автоматизации. Виды обеспечения САПР. Комплексы средств автоматизации проектирования.
P2	Твердотельное моделирование деталей	
P2.T1	Введение в процесс моделирования	Проекты. Построение эскизов. Зависимости. Закрепления. Размеры в эскизах. Основные конструктивные операции. Основные опорные элементы. Безэскизные конструкторские элементы.
P2.T2	Твердотельное моделирование деталей – начальный уровень	Режим "Деталь". Операции. Базовые элементы. Создание паза. Тонкостенные элементы. Соосные отверстия. Оболочки. Массивы элементов. Ребра. Литейные уклоны.
P2.T3	Твердотельное моделирование деталей – средний уровень	Вырезы методом вытягивания. Создание деталей методом вращения. Вращение эллипса. Вырез вращением. Создание деталей методом сопряжения. Создание детали методом протягивания по траектории.
P2.T4	Твердотельное моделирование деталей – повышенная сложность	Опорные элементы, слои и сечения. Геометрические допуски (допуски формы). Функции подавления и возобновления с использованием слоев. Уравнения. Скругления, фаски, резьбы. Операторы и функции. Математические функции. Таблицы семейств.



<b>P3</b>	Поверхностное моделирование деталей	
<b>P3.T1</b>	Введение в поверхностное моделирование	Интерфейс пользователя поверхностного моделирования. Методики моделирования. Создание кривых и поверхностей. Создание геометрических соединений.
<b>P3.T2</b>	Моделирование турбинных лопаток	Выбор систем координат. Рабочие лопатки постоянного профиля. Рабочие лопатки переменного профиля. Геометрия сечений. Задание сечения координатами точек сопряжения. Задание сечения посредством касательных дуг. Сшивание поверхностей. Отверждение поверхностной модели.
<b>P3.T3</b>	Усовершенствование поверхностей	Сплаины и коники. Поверхностные операции. Создание поверхностей из границ. Инструменты анализа. Поверхности с непрерывной кривизной. Сопряжение по касательным к поверхностям. Ленточная поверхность. Поверхности сдвига. Смещенные поверхности.
<b>P4</b>	Моделирование сборок	
<b>P4.T1</b>	Введение в моделирование сборок	Объединение моделей деталей в сборки. Закрепления сборки. Режим свободной компоновки. Манипулирование компонентом сборки. Визуальное отображение компонентов сборки.
<b>P4.T2</b>	Создание сборки в технологии восходящего моделирования	Компоненты сборки. Внешние компоненты. Создание детали внутри сборки. Использование слоев. Вставка закреплений сборки. Менеджер видов. Сечения. Виды.
<b>P4.T3</b>	Создание сборки в технологии нисходящего моделирования – часть первая	Замысел конструктора. Определение нисходящего моделирования. Каркасные модели. Конструкторские элементы совместного использования данных. Блокноты. Уравнения в режиме сборки. Внешние ссылки
<b>P4.T4</b>	Создание сборки в технологии нисходящего моделирования – часть вторая	Каркасные модели как метод встраивания замысла конструктора в сборку. Конструкторские элементы облегчения. Механизмы. Каркасные модели движения. Модификация изделия с помощью каркасных моделей. Поверхности свободной формы. Среда моделирования «Свободный стиль». Конструктивные элементы Копирования геометрии, Облегчения, Объединения и Наследования геометрии.
<b>P5</b>	Выполнение чертежей	
<b>P5.T1</b>	Введение в чертежи	Форматы, блоки заголовков, виды. Пользовательский интерфейс модуля Чертежи. Шаблоны чертежей. Просмотр шаблона. Виды
<b>P5.T2</b>	Чертежи деталей	Установка чертежных стандартов. Создание шаблонов. Стили графического стандарта. Слои. Чертежные ресурсы. Виды и сечения. Оформление чертежей. Чертеж анкера. Создание выносного вида. Создание второго листа.
<b>P5.T3</b>	Сборочные чертежи	Создание чертежа сборки. Добавление спецификации. Создание сборочного чертежа в разнесенном виде.
<b>P6</b>	CAE-системы. Введение	Использование инженерного анализа методом конечных элементов. Примеры задач, решаемых с помощью инженерного анализа. Статический анализ для упругих материалов.

		Модальный анализ. Анализ потери устойчивости. Анализ усталости. Анализ напряжений в композитных материалах. Нелинейный статический анализ напряжений. Стационарный и нестационарный анализ проблем, связанных с теплопроводностью, конвекцией и излучением.
<b>Р6.Т1</b>	Анализ напряжений	Цветовые поля напряжений в детали по фон Мизесу. Деформация детали. Анимация полей напряжений. Анимация деформации. Каркасное представление детали
<b>Р6.Т2</b>	Исследование чувствительности	Напряжения в оболочке, вызванные внутренним давлением. Исследование влияния радиуса галтели на напряжение в детали. Изменение напряжений по фон Мизесу от радиуса скругления оболочки.
<b>Р6.Т3</b>	Оптимизация конструкции	Модель плоского напряжения тонкой симметричной пластины при растяжении. Выбор переменных проекта. Цель оптимизации – минимизация общей массы пластины при не превышении заданного максимального напряжения.
<b>Р6.Т4</b>	Термическое напряжение	Упрощение модели корпуса задвижки. Нагружение корпуса задвижки внутренним давлением. Изменение температуры корпуса задвижки из-за конвективной теплопередачи, вызванной горячим газом, протекающим через задвижку плюс потери в окружающую среду. Распределение температуры в корпусе задвижки. Напряжение по фон Мизесу в результате комбинированной нагрузки давлением и тепловой нагрузкой.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **CAD/CAE системы в энергомашиностроении**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

#### **Печатные издания**

1. Блинов, В. Л., Комаров, О. В.; Цифровые двойники турбомашин : учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по направлениям подготовки 13.03.03 и 13.04.03 - Энергетическое машиностроение.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2022 (10 экз.)
2. Брезгин, В. И., Аронсон, К. Э.; Проектирование деталей турбомашин в среде AutoCAD 2004 : учебно-практическое пособие.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2007 (25 экз.)
3. Брезгин, В. И.; Проектирование деталей и сборок турбомашин в среде PTC Creo Parametric/Creo Simulate : учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки 13.03.03 - Энергетическое машиностроение .; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2017 (5 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Официальный интернет-сайт Уральского федерального университета: <http://www.ustu.ru>
2. Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru/>
3. Архив препринтов с открытым доступом – <https://arxiv.org/>
4. Изучение Creo Parametric. Базовый курс / ЭОР / В.И. Брезгин / 2019 год / <https://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/13924>
5. Компьютерные технологии в науке и производстве / ЭОР / В.И. Брезгин, Л.В. Плотников / 2020 год / [http://study.urfu.ru/view/aid\\_view.aspx?AidId=14143](http://study.urfu.ru/view/aid_view.aspx?AidId=14143)

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Academic Search Ultimate EBSCO publishing – <http://search.ebscohost.com>
2. Гугл Академия – <https://scholar.google.ru/>
3. Электронный научный архив УрФУ – <https://elar.urfu.ru/>
4. Зональная научная библиотека (УрФУ) – <http://lib2.urfu.ru/>
5. Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ – [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)
6. Университетская библиотека ONLINE – [biblioclub.ru](http://biblioclub.ru)
7. Электронно-библиотечная система "Библиокомплектатор" (IPRbooks) – [bibliocomplectator.ru/available](http://bibliocomplectator.ru/available)
8. Электронные информационные ресурсы Российской государственной библиотеки – [www.rsl.ru](http://www.rsl.ru)
9. Научная электронная библиотека – <http://elibrary.ru/>
10. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» – <https://cyberleninka.ru/>

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **CAD/CAE системы в энергомашиностроении**

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc

		соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc Creo Parametric 4.0. Creo Simulate 4.0
3	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc Creo Parametric 4.0. Creo Simulate 4.0
4	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Не требуется
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Не требуется

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Цифровые двойники систем и объектов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Блинов Виталий Леонидович	кандидат технических наук, доцент	Доцент	турбин и двигателей

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** Уральская передовая инженерная школа  
«Цифровое производство»

Протокол № 1 от 01.02.2023 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- **Блинов Виталий Леонидович, Доцент, турбин и двигателей**

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Понятие «Цифровой двойник». История развития технологии. Научная активность в данной сфере в мире и России. Стандарты.
P2	Цифровой двойник технического устройства	
P2.T1	Цифровой двойник изделий от разных компаний	Цифровые двойники Nasa. Цифровые двойники Siemens. Цифровые двойники Ansys. Цифровые двойники General Electric. Цифровые двойники в нефтегазовой промышленности. Классификация цифровых двойников, основные понятия.
P2.T2	Образующие технологии	Технологии IoT. CAE/CAD/PLM, Big Data, Cloud, VR/AR. Примеры реализации.
P2.T3	Реализация цифровых двойников	Примеры реализации цифровых двойников.
P2.T4	Эффект от применения цифрового двойника	Выгоды от применения цифрового двойника.
P3	Цифровые двойники турбомашин и турбоустановок	
P3.T1	Турбоустановки в транспорте газа, электроэнергетике,	Турбоустановки в транспорте газа, электроэнергетике, авиационном и судовом транспорте. Их место в структуре

	авиационном и судовом транспорте	бизнеса компаний. Бизнес процессы компаний. Место цифрового двойника турбоустановок в структуре бизнес-процессов компании.
<b>P3.T2</b>	Жизненный цикл турбоустановок и роль цифрового двойника в нем	Понятие жизненного цикла. Этапы жизненного цикла турбоустановок. Цифровые двойники турбомашин и турбоустановок на различных этапах жизненного цикла.
<b>P3.T3</b>	Цели и задачи цифровых двойников турбоустановок	Цели и задачи цифровых двойников турбоустановок. Глубина проработки цифрового двойника турбоустановки. Сложности реализации.
<b>P4</b>	Цифровые двойники на производстве	
<b>P4.T1</b>	Цифровой двойник изделия	Создание цифрового двойника изделия. Структура и функции. Цифровой двойник до и после изготовления изделия.
<b>P4.T2</b>	Цифровой двойник производства	Создание цифрового двойника производства. Структура и функции. Связь цифровых двойников изделий и цифрового двойника производства.
<b>P4.T3</b>	Сбор и структурирование данных на производстве	Анализа нормативной и конструкторской документации, результатов расчетов. Передача данных.
<b>P4.T4</b>	Виртуальные испытания	Виртуальные стенды и полигоны. Сертификация изделий.
<b>P5</b>	Цифровые двойники в эксплуатации	
<b>P5.T1</b>	Особенности эксплуатации турбоустановок	Анализ эксплуатационных условий турбомашин и турбоустановок.
<b>P5.T2</b>	Эксплуатационные параметры работы турбоустановок	Современные технологии сбора, анализа и обработки цифровой информации при эксплуатации турбоустановок. Фильтрация данных.
<b>P5.T3</b>	Реализации цифровых двойников на этапе эксплуатации оборудования	Вопросы реализации цифровых двойников турбомашин и турбоустановок.
<b>P5.T4</b>	Предиктивная аналитика	Вопросы технического обслуживания турбоустановок. Критерии технического состояния оборудования. Прогнозирование технического состояния. Применение методов машинного обучения для анализа данных.
<b>P6</b>	Математические модели в рамках цифровых двойников турбомашин и турбоустановок	
<b>P6.T1</b>	Модели процесса работы турбоустановок	Постановка задачи моделирования условий работы турбоустановки.
<b>P6.T2</b>	Моделирование и учет параметров работы осевого компрессора	Постановка задачи моделирования условий работы осевого компрессора.
<b>P6.T3</b>	Моделирование условий работы камеры сгорания газотурбинной установки	Постановка задачи моделирования условий работы камеры сгорания.

<b>Р6.Т4</b>	Моделирование и учет параметров работы газовых турбин	Постановка задачи моделирования условий работы газовой турбины.
<b>Р6.Т5</b>	Моделирование условий работы газодинамических каналов	Постановка задачи моделирования условий работы газодинамических каналов.
<b>Р6.Т6</b>	Моделирование процесса работы центробежного компрессора	Постановка задачи моделирования условий работы центробежного компрессора.
<b>Р6.Т7</b>	Моделирование и учет параметров работы паровых турбин	Постановка задачи моделирования условий работы паровой турбины.
<b>Р6.Т8</b>	Моделирование и учет параметров работы энергетических машин различного типа	Постановка задачи моделирования условий работы энергетических машин различного типа.
<b>Р7</b>	Передача данных между объектом и его цифровым двойником	Вопросы передачи и обработки цифровой информации.
<b>Р8</b>	Разработка и внедрение цифровых двойников Формирование технического задания на цифровой двойник.	Формирование технического задания на цифровой двойник.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цифровые двойники систем и объектов

#### Электронные ресурсы (издания)

#### Печатные издания

1. Блинов, В. Л., Комаров, О. В.; Цифровые двойники турбомашин : учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по направлениям подготовки 13.03.03 и 13.04.03 - Энергетическое машиностроение.; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2022 (10 экз.)

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Официальный интернет-сайт Уральского федерального университета: <http://www.ustu.ru>
2. Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru/>



3. Архив препринтов с открытым доступом – <https://arxiv.org/>

4. Цифровые двойники турбомашин : учебное пособие / В. Л. Блинов, С. В. Богданец ; М-во науки и высш. образования РФ. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 162 с.; <https://elar.urfu.ru/handle/10995/117116>

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Academic Search Ultimate EBSCO publishing – <http://search.ebscohost.com>

2. Гугл Академия – <https://scholar.google.ru/>

3. Электронный научный архив УрФУ – <https://elar.urfu.ru/>

4. Зональная научная библиотека (УрФУ) – <http://lib2.urfu.ru/>

5. Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ – [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)

6. Университетская библиотека ONLINE – [biblioclub.ru](http://biblioclub.ru)

7. Электронно-библиотечная система "Библиокомплектатор" (IPRbooks) – [bibliocomplectator.ru/available](http://bibliocomplectator.ru/available)

8. Электронные информационные ресурсы Российской государственной библиотеки – [www.rsl.ru](http://www.rsl.ru)

9. Научная электронная библиотека – <http://elibrary.ru/>

10. Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» – <https://cyberleninka.ru/>

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Цифровые двойники систем и объектов**

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Периферийное устройство	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc

		Персональные компьютеры по количеству обучающихся	
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Персональные компьютеры по количеству обучающихся  Подключение к сети Интернет	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc
3	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Персональные компьютеры по количеству обучающихся  Подключение к сети Интернет	Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit RUS OLP NL Acdmc
4	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя	Не требуется
5	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя	Не требуется